



ARTIGO ORIGINAL

Gustavo Guethi Manhani¹
Mauri Martins Teixeira¹
Haroldo Carlos Fernandes¹
Sérgio Zolnier¹
Robson Shigueaki Sasaki¹
Cleyton Batista de Alvarenga^{2*}

¹Universidade Federal de Viçosa – UFV,
Departamento de Engenharia Agrícola,
Viçosa, MG, Brasil

²Universidade Federal de Uberlândia – UFU,
Instituto de Ciências Agrárias,
Monte Carmelo, MG, Brasil

Autor Correspondente:

*E-mail: cleyton@iciag.ufu.br

PALAVRAS-CHAVE

Agrotóxicos
Evaporação
Diâmetro da mediana volumétrica

KEYWORDS

Agrochemicals
Evaporation
Volumetric median diameter

Déficit de pressão do vapor d'água na pulverização pneumática

Water vapor pressure deficit in pneumatic spraying

RESUMO: A eficiência de aplicação de agrotóxicos está relacionada às condições meteorológicas no momento da pulverização; entretanto, observa-se ainda que existe carência nos estudos relacionados à área. Neste sentido, objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito do déficit de pressão de vapor d'água no ar utilizando-se um pulverizador pneumático. O estudo consistiu de dois ensaios independentes: experimento (1), que foi realizado sob o Déficit de Pressão de Vapor d'água no ar (DPV_{ar}) entre 7,01 e 12,67 hPa, e o experimento (2), sob condições de DPV_{ar} entre 12,67 e 21,21 hPa. Cada experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 6×20 (seis vazões de ar do ventilador e 20 distâncias de pulverização), em que foram avaliados os parâmetros da pulverização: DMV, Densidade de gotas, índice Span e porcentagem de cobertura. Em todos os ensaios, foi utilizado um pulverizador pneumático, marca Berthoud, modelo AF427, equipado com um diafragma para controle da vazão de ar. Ao final, observou-se que, com a redução da vazão de ar do pulverizador, foi proporcionado o aumento no diâmetro das gotas pulverizadas. O máximo valor de DMV encontrado no experimento (1) foi de 294,07 μm ; já no experimento (2), foi de 242,19 μm . Quanto à densidade de gotas, no experimento (1), a máxima deposição foi de 127 gotas cm^{-2} , reduzindo para 117 gotas cm^{-2} no experimento (2).

ABSTRACT: The efficiency of application of agrochemicals is related to meteorological conditions at the time of spraying, and there are few studies on this topic in the literature. Therefore, this work aimed to evaluate the water vapor pressure deficit in the air (VPD_{air}) using a pneumatic sprayer. The study consisted of two independent trials: Experiment (1), which was carried out under VPD_{air} condition between 7.01 and 12.67 hPa; and Experiment (2), under VPD_{air} condition between 12.67 and 21.21 hPa. Each experiment was conducted in completely randomized design in 6×20 factorial scheme (six air flows and twenty spraying distances), where the following spraying parameters were evaluated: volumetric median diameter (VMD), droplet density, Span index, and percentage coverage. A Berthoud manufactured, model AF427, pneumatic sprayer equipped with a diaphragm for air flow control was used in all tests. It was possible to observe that a reduction of the sprayer air flow provided an increase in the diameter of drops sprayed. Maximum VMD values were 294.07 μm , in experiment (1) and 242.19 μm , in experiment (2). Regarding droplet density, experiment (1) showed maximum deposition of 127 drops cm^{-2} , reducing to 117 drops cm^{-2} in experiment (2).

1 Introdução

No processo de produção agrícola, os agrotóxicos são utilizados com o objetivo de controlar pragas, doenças e plantas daninhas, elevando-se a qualidade dos produtos colhidos e aumentando a produção no campo. Entretanto, os agrotóxicos devem ser utilizados eficientemente, pois o uso inadequado pode gerar efeitos negativos sobre a saúde humana e ao meio ambiente (MAGDALENA et al., 2010).

A aplicação de agrotóxicos é um processo de grande complexidade. No intervalo de tempo entre a preparação do produto e a sua ação contra as pragas agrícolas, acontecem transformações e perdas que podem impactar negativamente a sua ação. Dentre os fatores que podem influenciar na qualidade da aplicação, destacam-se os efeitos meteorológicos, principalmente a velocidade do vento e o déficit de pressão de saturação do vapor d'água no ar, no momento da pulverização. A meteorologia tem um papel importante na determinação do movimento das gotas na atmosfera, bem como onde essas gotas serão depositadas.

Cunha (2008a) simulou a distância percorrida pela gota e constatou que os maiores alcances longitudinais ocorreram para as gotas de menor diâmetro e nas maiores velocidades do vento e alturas de lançamento. Dependendo das condições impostas, houve um arraste da gota de até 38,3 m. Outro trabalho realizado por Cunha (2008b), trabalhando com a simulação do risco potencial de deriva dos agrotóxicos, verificou que a deriva é fortemente influenciada pela velocidade do vento e pelo espectro de gotas. Observou ainda que, dependendo das condições da pulverização, 10% do volume total aplicado é perdido por evaporação das gotas antes de se depositarem no alvo.

Quanto às condições psicrométricas do ar, Donkersley e Nuyttens (2011) relatam que a temperatura e a umidade relativa do ar afetam a taxa de evaporação das gotas. Nascimento et al. (2012) averiguaram o efeito da temperatura e da umidade relativa do ar na deposição de herbicida, e constataram redução na deposição de líquido, principalmente quando se utilizam gotas finas e médias.

Alvarenga et al. (2013) avaliaram a influência do déficit de pressão de vapor d'água do ar nos parâmetros da pulverização produzida pela ponta de jato cônico vazio JA-2 (1.055 kPa), na cultura da laranja. De forma geral, em elevados DPV_{ar} , ocorreu a evaporação das gotas, reduzindo o seu diâmetro. Quando se realizaram os testes de deposição, verificou-se que, em condições ideais, ou seja, baixo DPV_{ar} (<1,0 kPa), em média, a deposição foi de 2,6 $\mu\text{L cm}^{-2}$; esta se reduziu para 1,2 e 1,0 $\mu\text{L cm}^{-2}$, quando se aumentou o valor de DPV_{ar} para 1,45 e 2,1 kPa, respectivamente.

Apesar de se conhecerem os efeitos meteorológicos durante a aplicação de agrotóxicos, observa-se que ainda existe carência nos estudos principalmente quando a pulverização é realizada pelo sistema pneumático. Nos pulverizadores pneumáticos, a calda é impulsionada por uma bomba de baixa pressão ou por gravidade até um bocal, através do qual passa uma corrente de ar produzida por um ventilador centrífugo (DI PRINZIO; BEHMER; MAGADALENA, 2010). A fragmentação do líquido em gotas ocorre quando o líquido se choca com a corrente de ar.

Neste contexto, objetivou-se, com este trabalho, avaliar o efeito do déficit de pressão do vapor d'água no ar e a vazão de ar do ventilador, quanto aos parâmetros técnicos da pulverização, empregando-se um pulverizador pneumático.

2 Material e Métodos

O experimento foi conduzido no ano de 2011, no Laboratório de Aplicação de Defensivos Agrícolas (LADA) do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais.

Para a realização do experimento, foi utilizado um pulverizador pneumático, marca Berthoud, modelo AF 427, equipado com ventilador radial, acoplado a um trator John Deere, modelo 5705, e potência nominal de 62,5 kW. O pulverizador estava equipado com um diafragma e foi ensaiado conforme descrito por Manhani et al. (2013). O equipamento foi regulado para trabalhar com vazão de 4 L min^{-1} , operando-se, no canhão primário, com um bico de quatro orifícios de 4,0 mm de diâmetro e com pastilhas números 20 e 30, respectivamente, com 2,0 e 3,0 mm de diâmetro; no canhão secundário, operou-se com um bico de quatro orifícios de 2,0 mm e com pastilhas de 12 e 2,0 mm de diâmetro. A velocidade de trabalho do trator foi de 2,6 km h^{-1} .

O trabalho foi dividido em dois experimentos individuais, sendo que cada experimento consistiu de uma faixa de capacidade evaporativa do ar. O primeiro experimento foi realizado sob o intervalo de déficit de pressão do vapor d'água no ar (DPV_{ar}) de $7,01 < DPV_{ar} \leq 12,67$ hPa; já o segundo experimento, sob o intervalo de $12,67 < DPV_{ar} \leq 30,00$ hPa.

Cada experimento foi montado no delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 6 x 20 (seis vazões de ar e 20 distâncias em relação ao pulverizador) com quatro repetições por tratamento, totalizando 480 etiquetas por experimento. Para ajustar a vazão de ar, alteraram-se as aberturas do diafragma de 100, 90, 80, 70, 60 e 50% da sua área, e o segundo fator, distância em relação ao pulverizador, foi composto de 20 níveis (1,5; 3,0; 4,5;...; 30,0 m). As pulverizações foram realizadas sob alvo artificial (etiquetas hidrossensíveis), conforme demonstrado na Figura 1.

As condições psicrométricas do ar foram monitoradas com o auxílio de um psicrômetro não aspirado e as pulverizações foram realizadas desde que a velocidade do vento estivesse entre 0,5 e 1 m s^{-1} . O monitoramento da velocidade do vento



Figura 1. (a) Ajuste da vazão de ar; (b) Faixa de pulverização.

foi realizado com auxílio de um anemômetro digital portátil (modelo AD-250, Instrutherm, São Paulo-SP, Brasil).

Após a aplicação, as etiquetas foram recolhidas, levadas para o laboratório e fotografadas. Com o auxílio do programa *Image Tool* v. 3.0, determinaram-se os parâmetros técnicos da pulverização: diâmetro da mediana volumétrica (DMV), densidade de gotas, percentagem de cobertura, coeficiente de homogeneidade (CH) e amplitude relativa (Span). Houve uma correção do diâmetro das gotas em função do coeficiente de espalhamento indicado para papel hidrossensível, proposta por Chaim, Maia e Pessoa (1999).

Os dados foram submetidos à análise de variância e de regressão para estabelecimento de modelos para as variáveis estudadas. Os critérios adotados para a escolha dos modelos foram: regressão significativa (teste F), critério *Stepwise* para eliminação de coeficientes não significativos (teste t) e coeficiente de determinação (R^2). Os resultados foram submetidos à análise de superfície de resposta por meio do programa MINITAB® Release 14 v. demo.

3 Resultados e Discussão

Com o uso do diafragma, a vazão de ar proporcionada pelo ventilador foi de 51,3; 50,2; 50,5; 48,9; 44,1 e 38,9 $\text{m}^3 \text{min}^{-1}$, nas aberturas de 100, 90, 80, 70, 60 e 50%, respectivamente.

Na avaliação dos parâmetros técnicos da pulverização, para a condição de DPV_{ar} entre 7,01 e 12,67 hPa, apresentou-se um DMV máximo de 294,07 μm próximo ao pulverizador, alcançado com a vazão de ar de 38,97 $\text{m}^3 \text{min}^{-1}$. Dentro de uma determinada vazão de ar, os menores valores de DMV foram obtidos nas maiores distâncias do bocal do pulverizador (Figura 2a). Diversamente, ao se pulverizar na condição de DPV_{ar} entre 12,67 e 21,21 hPa, observou-se um DMV máximo de 242,19 μm próximo ao pulverizador. Da mesma forma, o maior DMV foi alcançado na menor vazão de ar, ou seja, 37,98 $\text{m}^3 \text{min}^{-1}$ (Figura 2b).

Os maiores valores de DMV, nas menores distâncias, em relação ao pulverizador, devem-se ao posicionamento do bocal secundário (MANHANI et al., 2013). Em condições de alta capacidade evaporativa do ar, percebeu-se uma queda do DMV ao longo da faixa para as vazões de ar estudadas. Esse comportamento é uma consequência do aumento do poder evaporativo do ar no bocal atomizador e no ambiente. A redução do DMV com o aumento do DPV_{ar} é causada pela evaporação do líquido contido em uma gota, pois a mesma possui uma elevada área superficial em relação ao seu volume, o que corrobora com os resultados apresentados por Fritz e Hoffmann (2007).

Resultado semelhante obteve Queiroz (2009), ao avaliar a relação entre a elevação da temperatura do ar ambiente próximo de uma ponta de pulverização hidráulica e o seu DMV resultante. Suas análises mostraram uma redução de 260,96 para 158,88 μm do tamanho das gotas formadas quando a temperatura aumentou de 16 para 36 $^{\circ}\text{C}$, respectivamente. A redução do diâmetro de gotas em elevado déficit de pressão de vapor d'água corrobora com os resultados obtidos por Matthews (2000). A redução do DMV acarreta a redução na deposição de líquido sob o alvo, corroborando com os resultados encontrados por Alvarenga et al. (2013) e Nascimento et al. (2012).

Em uma aplicação de agrotóxicos, a meteorologia tem um papel importante na determinação do movimento das gotas na atmosfera, bem como onde essas gotas serão depositadas. Em uma pulverização de campo, sabe-se que a eficiência da aplicação é altamente dependente do diâmetro das gotas pulverizadas. De certa forma, gotas menores têm como característica a obtenção de maiores níveis de cobertura (FARINHA et al., 2009); no entanto, estas são mais susceptíveis à deriva e a evaporação.

Recomenda-se, em uma aplicação, ajustar o tamanho das gotas de acordo com o alvo a ser atingido, o produto a ser aplicado e as condições meteorológicas no momento da

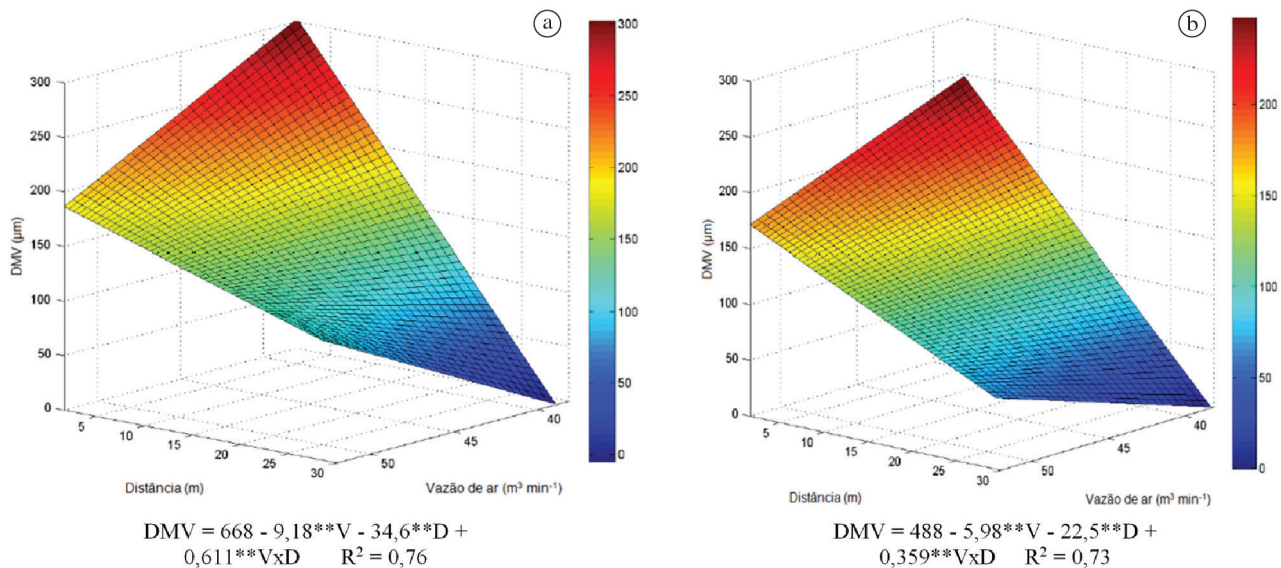


Figura 2. Diâmetro da mediana volumétrica em função da vazão de ar do pulverizador e da faixa de aplicação. (a) DPV_{ar} entre 7,01 e 12,67 hPa; (b) DPV_{ar} entre 12,67 e 21,21 hPa. **Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t.

pulverização. Em equipamentos hidráulicos, este ajuste é realizado trocando-se a ponta de pulverização; entretanto, em pulverizadores pneumáticos, existe a carência desta regulagem, podendo, neste caso, utilizar-se o sistema de controle da vazão de ar, sendo o diafragma uma opção.

Na avaliação da densidade de gotas, quanto maior a vazão de ar, menor foi o diâmetro das gotas pulverizadas e, conseqüentemente, maior foi o número de gotas depositadas no alvo. Para a condição de DPV_{ar} entre 7,01 e 12,67 hPa, observaram-se valores de densidades de até 127 gotas cm^{-2} (Figura 3a). Elevando-se o DPV_{ar} , a máxima densidade de gotas encontradas foi de 117 gotas cm^{-2} (Figura 3b).

O aumento do potencial de evaporação do ar ambiente reduz o volume de uma gota e, conseqüentemente, o seu tempo de vida, fazendo com que as gotas de menor diâmetro evaporem, não possibilitando que estas atinjam longas distâncias, corroborando com os resultados obtidos por Xu et al. (2010), ao estudarem o tempo de vida de uma gota.

Ao se elevar o DPV_{ar} do ambiente, reduziu-se a densidade de gotas depositadas no alvo. Este efeito foi ainda mais proeminente nas aberturas do diafragma de 60 e 50%. Esse fato é explicado pela dinâmica do ventilador: ao utilizar um sistema de pás radiais, o atrito da massa de ar com as pás do ventilador promove uma transferência de energia, ocasionando seu aquecimento, o que corrobora com Rangel (1994) e Trigo et al. (1997). Quando há o estrangulamento da entrada de ar pelo fechamento do diafragma, uma menor massa de ar desloca-se para o interior do sistema; porém, o ventilador, operando na mesma rotação, transmite a mesma energia. Como uma menor massa de ar está submetida ao mesmo ganho de calor que na situação prévia, o resultado é um aquecimento maior quando se estrangula a entrada de ar do ventilador.

É importante ressaltar que se observou grande variabilidade na densidade de gotas ao longo da faixa de aplicação para as vazões estudadas, ou seja, existe elevado número de gotas depositadas no alvo próximo ao pulverizador, decaindo

conforme se distancia do equipamento. Os valores obtidos para o coeficiente de variação da densidade de gotas foram 69,32 a 103,54% e 75,41 a 121,67%, para os intervalos de DPV_{ar} entre 7,01 e 12,67 hPa, e entre 12,67 e 21,21 hPa, respectivamente. Os altos coeficientes de variação obtidos evidenciam a desuniformidade da deposição para uma aplicação dessa natureza. Resultados semelhantes foram obtidos por Zhu et al. (2007), que obtiveram valores de 109% de coeficiente de variação para a densidade de gotas dentro da faixa de aplicação alcançada. A desuniformidade de aplicação dos pulverizadores tipo 'canhão' também foi mencionada por Schroder (2009), o qual comenta que o uso deste equipamento não tem crescido devido à desuniformidade de deposição e à sua grande dependência das condições meteorológicas.

Quanto à amplitude relativa, é um importante parâmetro da pulverização, uma vez que indica o quão homogêneo é o espectro de gotas formado na pulverização. Quanto mais homogêneo o espectro, maiores são as possibilidades de uma pulverização de qualidade (SASAKI et al., 2013). Os valores máximos de Span foram encontrados quando se utilizou a menor vazão de ar, sendo os resultados de 1,06 e 0,99, para os intervalos de DPV_{ar} entre 7,01 e 12,67 hPa, e entre 12,67 e 21,21 hPa, respectivamente, conforme demonstrado nas Figuras 4a, b.

Os valores de amplitude relativa encontrados indicaram que, para as diferentes vazões de ar e distâncias, as pulverizações apresentaram espectro de gotas relativamente homogêneo. Os resultados de Span apresentaram valores aproximados para os dois intervalos de DPV_{ar} , com pequena redução dos valores para a condição de alta capacidade evaporativa do ar. O processo evaporativo, na saída de ar do ventilador, eleva a perda de volume das gotas produzidas, reduzindo o $Dv_{0,9}$ e, conseqüentemente, a amplitude entre os valores de $Dv_{0,9}$ e $Dv_{0,1}$.

Em uma aplicação de agrotóxicos, o DMV e a amplitude relativa devem ser analisados conjuntamente para a caracterização da pulverização. Isoladamente, o DMV fornece

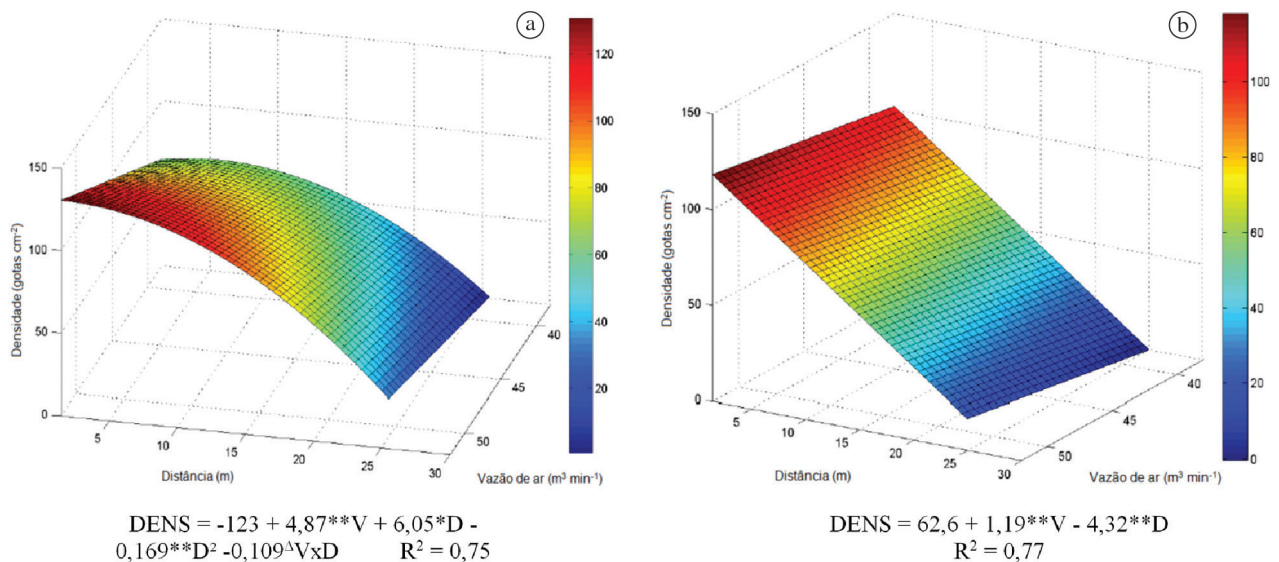


Figura 3. Densidade de gotas em função da vazão de ar do pulverizador e da faixa de aplicação. (a) DPV_{ar} entre 7,01 e 12,67 hPa; (b) DPV_{ar} entre 12,67 e 21,21 hPa. Δ , *, **, significativo a 15%, 5% e 1% de probabilidade pelo teste t, respectivamente.

um valor de referência, sem indicar a dispersão dos dados em torno desse valor (CUNHA; BUENO; FERREIRA, 2010).

No estudo da porcentagem de cobertura do alvo, esta ocorreu da mesma forma que os demais parâmetros, que foram dependentes da vazão de ar e da distância de pulverização. Entretanto, em elevado DPV_{ar} , houve casos em que este acarretou o acréscimo na porcentagem de cobertura quando comparado à condição ambiente mais amena (Figuras 5a, b).

Considerando-se a capacidade evaporativa do ar mais elevada, na vazão de ar de $51,28 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$, a calda é fracionada com maior intensidade, produzindo gotas de menor diâmetro, que sofrem a ação do déficit de pressão, tanto

no bocal do atomizador como no ambiente, ocasionando a evaporação precoce das gotas; reduz-se, assim, a densidade, e, conseqüentemente, a porcentagem de cobertura do alvo. Na vazão de ar de $38,97 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$, a intensidade do fracionamento é menor, produzindo gotas de maior diâmetro; entretanto, existe o aquecimento do ar provocado pelo atrito das pás, fazendo com que estas gotas sofram o efeito evaporativo do ar proveniente do ventilador, o que reduz o diâmetro destas gotas e sua porcentagem de cobertura do alvo. Quando comparado às densidades entre as duas vazões de ar mencionadas, verifica-se que houve valores próximos deste parâmetro para ambas, em uma mesma distância.

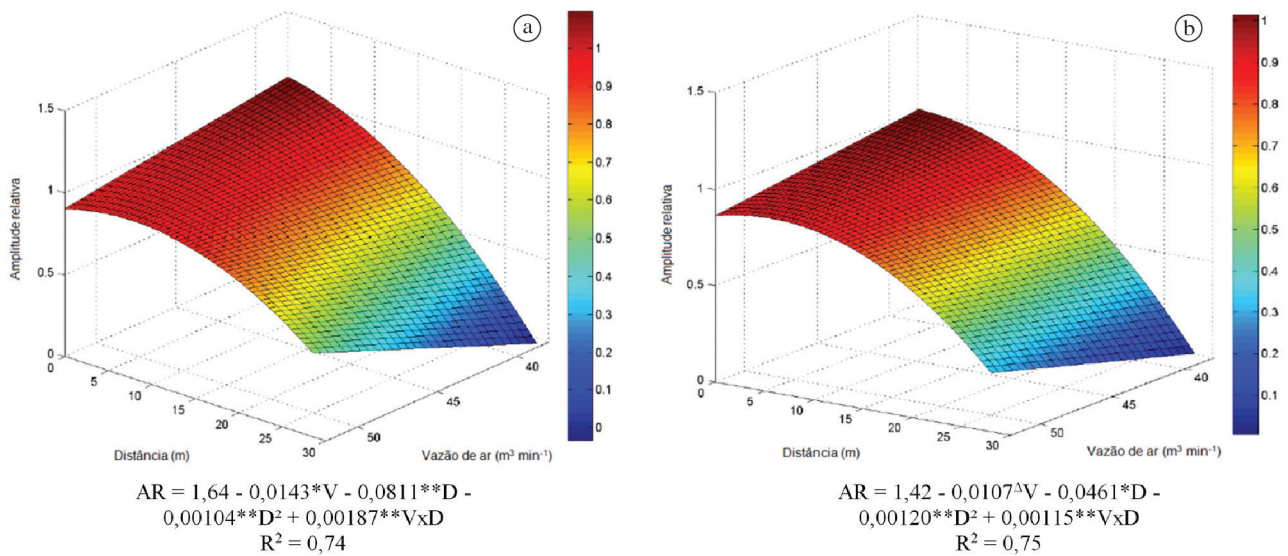


Figura 4. Amplitude relativa (Span) em função da vazão de ar do pulverizador e da faixa de aplicação. (a) DPV_{ar} entre 7,01 e 12,67 hPa; (b) DPV_{ar} entre 12,67 e 21,21 hPa. Δ , *, **: significativo a 15%, 5% e 1% de probabilidade pelo teste t, respectivamente.

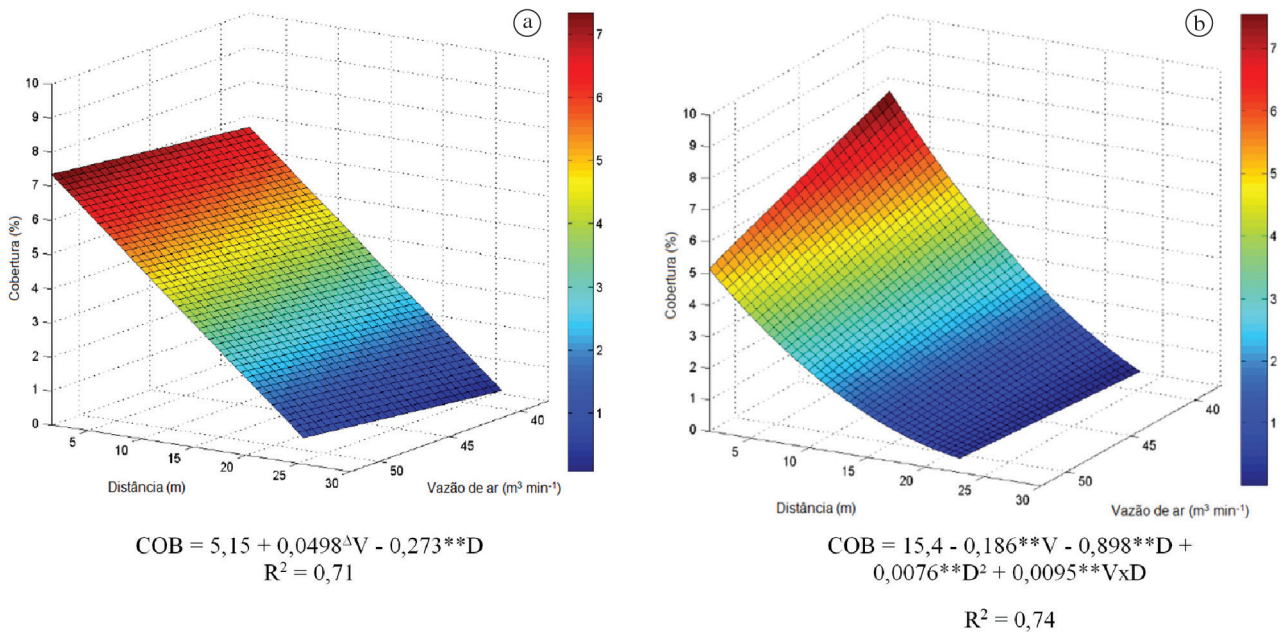


Figura 5. Percentual de cobertura em função da vazão de ar do pulverizador e da faixa de aplicação. (a) DPV_{ar} entre 7,01 e 12,67 hPa; (b) DPV_{ar} entre 12,67 e 21,21 hPa. Δ , **: Significativo a 15 % e 1 % de probabilidade pelo teste t, respectivamente.

4 Conclusões

Houve efeito do DPV_{ar} quanto aos parâmetros técnicos da pulverização.

Com a redução da vazão de ar do pulverizador, houve aumento do diâmetro das gotas pulverizadas. O máximo DMV foi de 294 μm , quando se trabalhou com DPV_{ar} entre 7,01 e 12,67, e de 242 μm , quando as pulverizações foram realizadas sob DPV_{ar} entre 12,67 e 21,21 hPa. A máxima deposição foi de 127 e 117 gotas cm^{-2} com DPV_{ar} entre 7,01 e 12,67, e sob DPV_{ar} entre 12,67 e 21,21 hPa, respectivamente.

Referências

- ALVARENGA, C. B.; TEIXEIRA, M. M.; CECON, P. R.; SIQUEIRA, D. L.; SASAKI, R. S.; RODRIGUES, D. E. Déficit de pressão de vapor d'água no ar na distribuição de líquido utilizando um pulverizador hidropneumático. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 56, n. 2, p. 81-87, 2013.
- CHAIM, A.; MAIA, A. H. N.; PESSOA, M. C. P. Y. Estimativa da deposição de agrotóxicos por análise de gotas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 34, n. 6, p. 963-969, 1999. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X1999000600006>
- CUNHA, J. P. A. R. Simulação da deriva de agrotóxicos em diferentes condições de pulverização. *Revista Ciência & Agrotecnologia*, v. 32, n. 5, p. 1616-1621, 2008a. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542008000500039>
- CUNHA, J. P. A. R. Simulação da deriva de agrotóxicos em diferentes métodos de aplicação. *Revista Ciência Agronômica*, v. 39, n. 4, p. 487-493, 2008b.
- CUNHA, J. P. A. R.; BUENO, M. R.; FERREIRA, M. C. Espectro de gotas de pontas de pulverização com adjuvantes de uso agrícola. *Planta Daninha*, v. 28, p. 1153-1158, 2010. Número Especial.
- DI PRINZIO, A.; BEHMER, S.; MAGDALENA, J. C. Equipos pulverizadores terrestres. In: DI PRINZIO, A.; BEHMER, S.; MAGDALENA, J. C. *Tecnología de aplicación de agroquímicos*. Argentina: Área de comunicaciones del INTA Alto Valle, 2010. cap. 9, p. 107-120.
- DONKERSLEY, P.; NUYTENS, D. A meta analysis of spray drift sampling. *Crop Protection*, v. 30, p. 931-936, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2011.03.020>
- FARINHA, J. V. MARTINS, D.; VILANOVA, COSTA, N. V.; DOMINGOS, V. D. Deposição da calda de pulverização em cultivares de soja no estádio R1. *Ciência Rural*, v. 39, n. 6, p. 1738-1744, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782009000600016>
- FRITZ, B. K.; HOFFMANN, W. C. Meteorological Influences on Mass Accountability of Aerially Applied Sprays. *Transactions of the ASABE*, 2007. 10 p. (ASABE Paper n. AA07-003).
- MAGDALENA, J. C.; FERNÁNDEZ, D.; DI PRINZIO, A.; BEHMER, S. Pasado y presente de la aplicación de agroquímicos em agricultura. In: MAGDALENA, J. C.; FERNÁNDEZ, D.; DI PRINZIO, A.; BEHMER, S. *Tecnología de aplicación e agroquímicos*. Argentina: Área de comunicaciones del INTA Alto Valle, 2010. cap. 1, p. 17-26.
- MANHANI, G. G.; TEIXEIRA, M. M.; FERNANDES, H. C.; ZOLNIER, S.; SASAKI, R. S. Developing a system to control the air flow of a pneumatic sprayer. *Bioscience Journal*, v. 29, n. 3, p. 667-675, 2013.
- MATTHEWS, G. A. *Pesticide application methods*. 3.ed. Oxford: Blackwell Science, 2000. 432 p. <http://dx.doi.org/10.1002/9780470760130>
- NASCIMENTO, A. B.; OIVEIRA, G. M.; BALAN, M. G.; HIGASHIARA, L. R.; ABI SAAB, O. J. G. Deposição de glifosato e utilização de adjuvantes para diferentes pontas de pulverização e horário de aplicação. *Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias*, v. 5, n. 2, p. 105-116, 2012.
- QUEIROZ, H. S. *Sistema alternativo para redução da evaporação e deriva em aplicações de calda de pulverização baseado na utilização de tubo de vórtice*. 2009. 62 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, 2009.
- RANGEL, M. A. S. *Secagem estacionária de sementes de arroz com ar ambiente*. 1994. 80 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 1994.
- SASAKI, R. S.; TEIXEIRA, M. M.; ALVARENGA, C. B.; SANTIAGO, H.; MACIEL, C. F. S. Spectrum of droplets produced by use of adjuvants. *Idesia*, v. 31, n. 1, p. 27-33, 2013. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292013000100004>
- SCHRODER, E. P. *Proteção com tecnologia*. 2009. Disponível em: <http://www.megabio.com.br/ambiente_2.html>. Acesso em: 26 maio 2011.
- TRIGO, M. F. O.; MOTTABICCA, F. M.; TRIGO, L. F. N.; ASSIS, F. N. Estimativa do número de horas diárias favoráveis à secagem de sementes com ar ambiente forçado. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 19, n. 2, p. 225-229, 1997.
- XU, L.; ZHU, H.; OZKAN, H. E.; THISTLE, H. W. Evaporation rate and development of wetted area of water droplets with and without surfactant at different locations on waxy leaf surfaces. *Biosystems Engineering*, v. 106, n. 4, p. 440-447, 2010.
- ZHU, H.; YU, Y.; DERKSEN, R. C.; OZKAN, H. E.; KRAUSE, C. R. Wide-swath spray application in ornamental nurseries with cannon air jet sprayer. *ASABE Annual International Meeting*, 2007. Paper number: 071069.